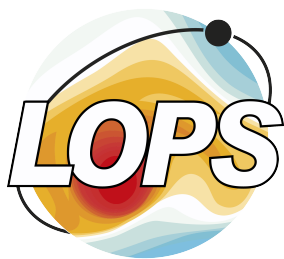


# Océanographie Générale

1. Morphologie des Océans
2. Composition et propriétés de l'eau de mer
3. Forces et contraintes agissant sur l'océan
4. La circulation océanique
5. Ondes océaniques, vagues et marées
6. Océan et climat : El Niño
7. Les mesures en mer pour l'océanographie
8. Le réchauffement climatique

1



**Thierry.Huck@univ-brest.fr**

chercheur CNRS en **océanographie physique**

**Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale (LOPS)**

Unité Mixte de Recherche (UMR 6523)

- CNRS Centre National de la Recherche Scientifique
- IFREMER Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
- IRD Institut de Recherche pour le Développement (ex ORSTOM)
- UBO Université de Bretagne Occidentale

Environ 150 personnes :

60 chercheurs, 40 ingénieurs-techniciens-administratifs, 50 doctorants-postdocs

2 sites voisins sur le Technopole Brest Iroise à Plouzané :

- Institut Universitaire Européen de la Mer (IUEM)
- IFREMER

<http://www.umer-lops.fr/>

<http://www.ifremer.fr/lpo/>

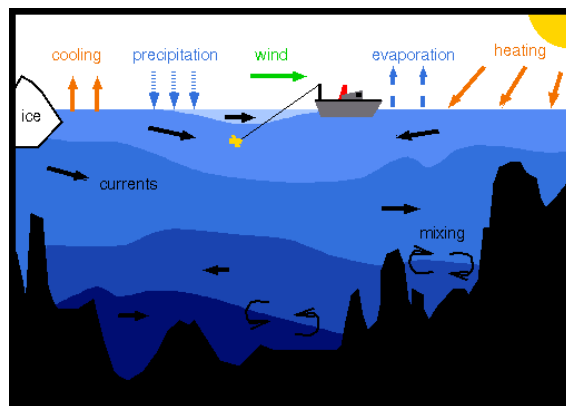
<http://www.ifremer.fr/lpo/thuck/>

2



## L'océan est

- une source de nourriture et de matières premières
- une composante essentielle du système climatique



3

**océanographie** : étude scientifique des océans. Cette discipline a la particularité d'être à cheval sur plusieurs domaines, on distingue en effet l'océanographie physique, biologique, chimique et géologique, mais on retrouve souvent des interactions très fortes entre ces différents domaines.

## Difficultés d'observer l'océan

- Taille énorme de l'océan : 71% de la surface du globe
- Pression énorme en profondeur : +1 bar tous les 10 m
- Corrosion (35 g de sel par kg d'eau de mer)
- Quasi opacité à la lumière et aux ondes radio
- Echelles spatiales et temporelles de variabilité allant du mm et de la seconde aux dimensions planétaires et millénaires

4

# Chapitre 1

## Morphologie des Océans

### Questions

- profondeur moyenne des océans ?
- comment observe-t'on les fonds océaniques ?
- de quoi est constitué le fond des océans ?
- vitesse de modification du relief océanique ?

5

La  
planète  
bleue

sphéroïde  
de rayon  
**6400 km**

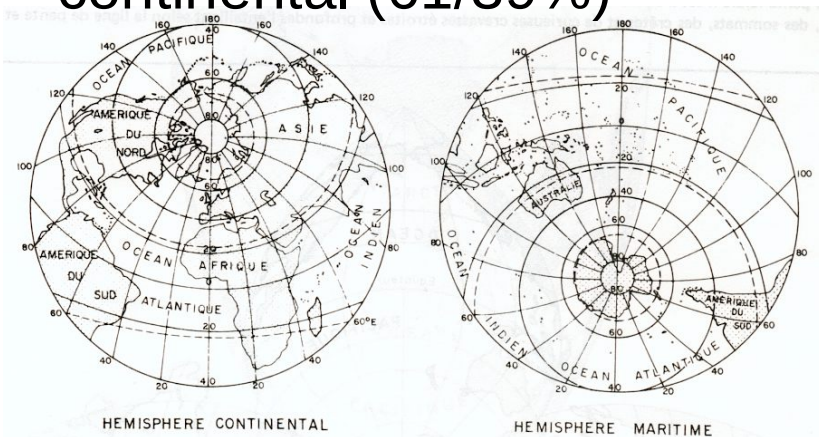
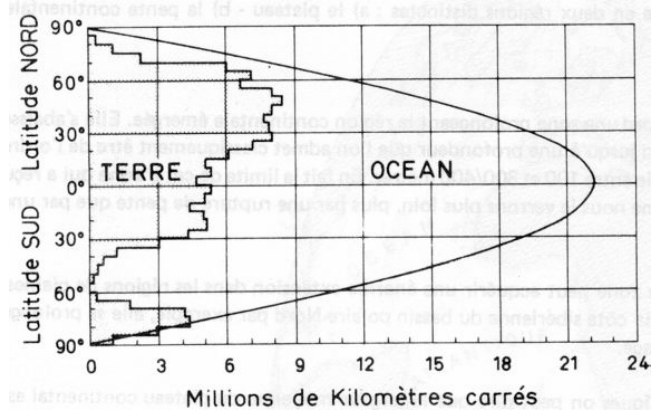


# contraste continents / océans

**océan 71%**

**terre 29%**

**hémisphère nord  
continental (61/39%)**



**hémisphère sud  
océanique (81/19%)**

7

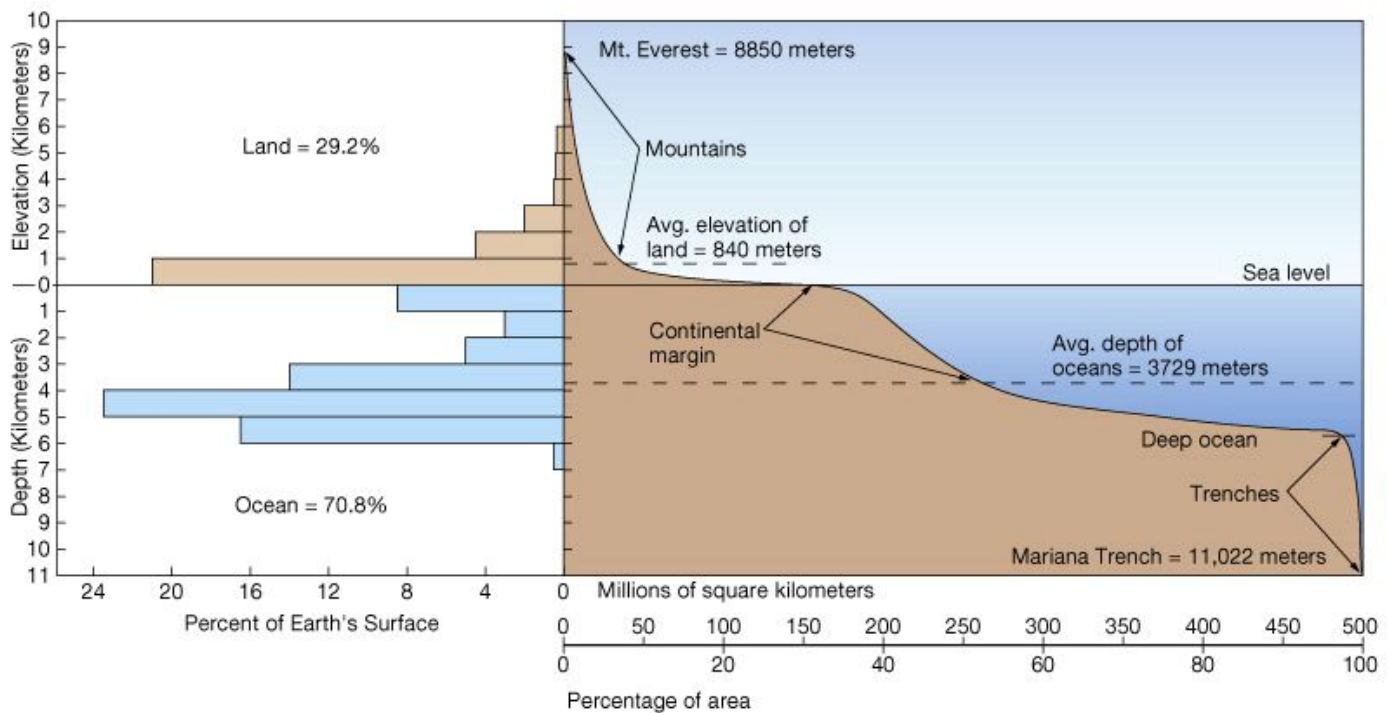
## Quelques rappels de géographie...

- Océan Pacifique 50%
- Océan Atlantique 30%
- Océan Indien 20%
- Océan austral, Courant Antarctique Circumpolaire 6%
- Océan arctique 4% (pas de continent !)

NB masse continentale Antarctique couverte de glace,  
comme le Groenland

8

continents : altitude moyenne 800 m  
océans : profondeur moyenne 3800 m



## bref historique de la découverte des océans

### 1. les temps anciens

- 3800 premières cartes côtières égyptiennes
- 800 Phéniciens et Grecs sortent de Méditerranée
- 500 "La Terre est ronde", Parménides (philosophe grec)
- 400 liens connus entre niveau de la mer et la Lune
- 330 Pythéas, explorateur grec, détermine la latitude de Marseille à 43° Nord
- 250 carte du monde, calcul de la circonférence de la Terre, Eratosthènes (mathématicien grec) : 39 375 km erreur 2% !
- +150 nouveau calcul de la circonférence par Ptolémée sous-estimée à 28 500 km, sera utilisée jusqu'à la Renaissance :(
- +450 à +600 Polynésiens à Hawaii : navigation en observant vent vague eau et vie marine
- +700 Vikings en Islande, +986 au Groenland, +1000 en Amérique : bateaux robustes, découvertes accidentelles

# bref historique de la découverte des océans

## 2. les grands explorateurs - 15e et 16e siècles

- voyages chinois dans le Pacifique et l'Indien (dynastie Ming 1368-1644), avec 37.000 hommes et 317 navires (jusqu'à 135m de long). Utilisation de compas magnétique (boussole, 12e siècle) et de cartes de navigation.
- expéditions espagnoles et portugaises (école de navigation fondée par le roi Henri "Le Navigateur"), utilisation du compas : Christophe Colomb (1492, antilles, Amérique), Vasco de Gama (1498, Indes)
- 1519-1522 tour du monde de Magellan (un bateau rescapé sur 5, Magellan périt en route aux Philippines en 1521)

1530 méthode de détermination de la longitude grâce à la montre, mais instruments trop imprécis (15min. à 1h/jour)

1687 Newton : gravitation et marées

1730 invention du sextant -> latitude

1737 premier chronomètre de précision (5s/10jours)

11



12

# bref historique de la découverte des océans

## 3. les expéditions scientifiques

- 1768-1779 James Cook (HMS Endeavour et Discovery, sous Geroges III) : 3 voyages exploratoires et scientifiques (cartes, échantillons), découvre et est tué à Hawaii.
- 1792 Robert Gray sur Columbia fait le premier tour du monde américain.
- 1803-1805 premier voyage océanographique autour du monde russe ( A. J. Krouzenchtern à bord des Neva et Nadeshda).
- 1831-1836 expédition du HMS Beagle, capitaine FitzRoy, à bord Darwin.
- 1872-1876 expédition du Challenger, dirigé par Charles Thomson et John Murray : 50 rapports encore consultés aujourd'hui.
- 1904 première édition de la carte bathymétrique du fond des océans
- 1911 sondeur à ultrason
- 1930-1966 le Woods Hole Oceanographic Institution (Boston, USA) et son navire de recherche Atlantis
- 1968- campagne Glomar Challenger et Deep-Sea Drilling Project, effort international de forage des fonds océaniques (+ de 1000 sites)

## Niveau de la mer ?

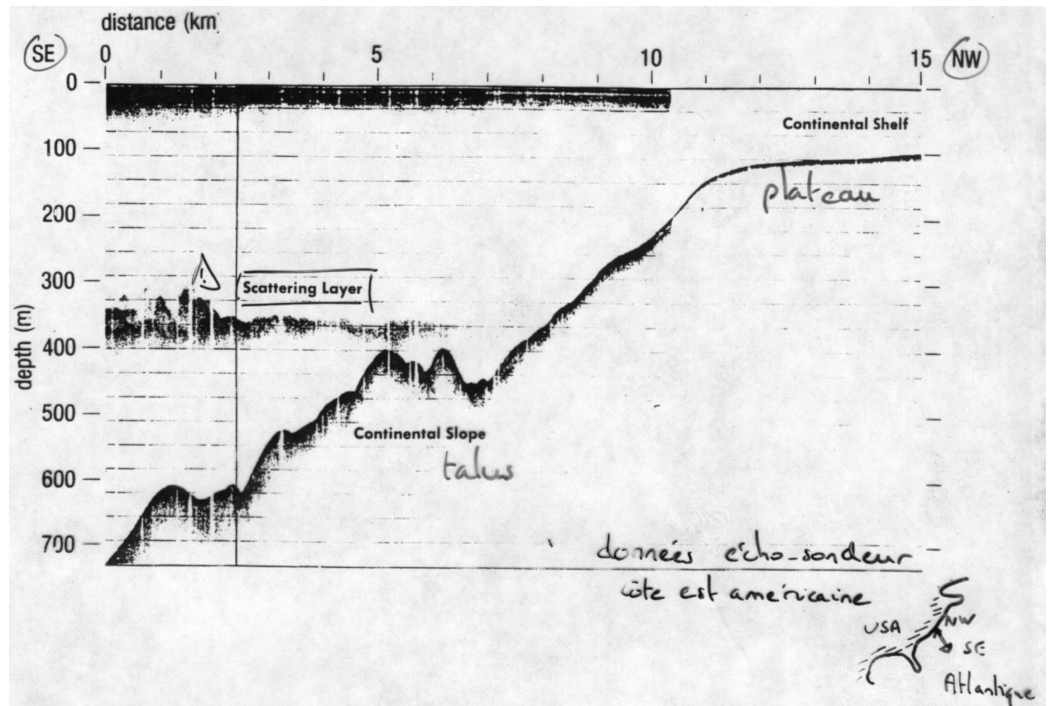
affecté par de nombreux processus sur des échelles spatiales et temporelles très variées :

- vagues et houle (qqes m, 10s), marées (1 à 10m, 6h), pression atmosphérique (1m, jour),
- cycles glaciaires/interglaciaires (100m, 10.000ans)
- réchauffement climatique (mm à cm par an)

niveau zéro des cartes marines défini différemment selon les pays (moyen, minimum...)

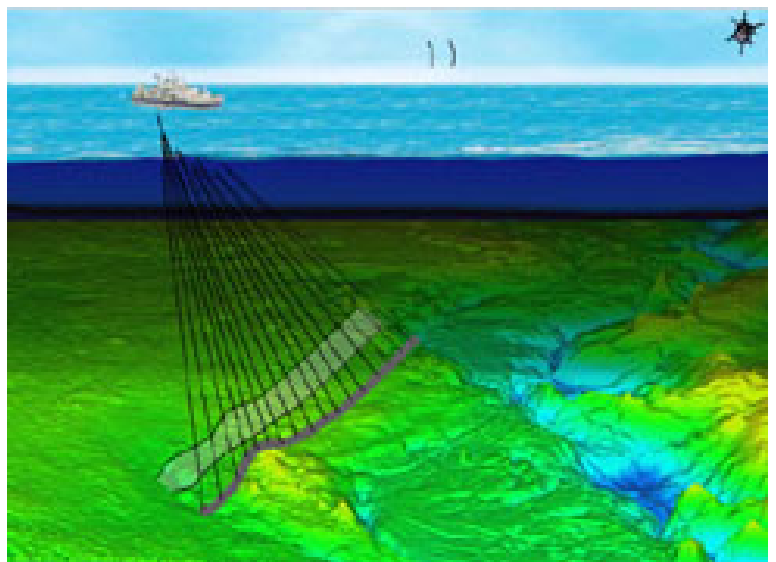
# Mesures de profondeur

- historiquement ligne de sonde lestée : long&imprécis
- depuis 1920, écho sondeurs (onde sonore 5-30kHz)



EM300, Suroit, Ifremer

aujourd'hui :  
sondeurs  
multifaisceaux





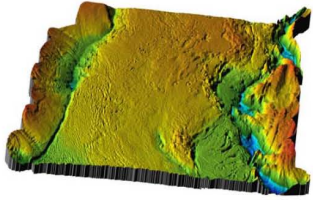
# Les sondeurs multifaisceaux

Pour l'exploration des fonds marins, l'Ifremer met en œuvre des sondeurs multifaisceaux.

Ces systèmes acoustiques permettent d'obtenir de manière précise et rapide :

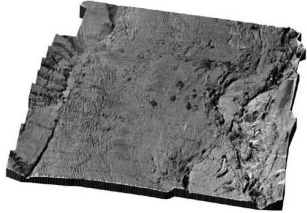
- des relevés topographiques du relief sous-marin (**bathymétrie**),
- des images sonar présentant la réflectivité locale du fond, et donc sa nature (**imagerie**).

Un sondeur multifaisceaux mesure simultanément la profondeur selon plusieurs directions, déterminées par les faisceaux de réception du système. Ces faisceaux forment une fauchée perpendiculaire à l'axe du navire. On explore ainsi le fond sur une large bande (de l'ordre de 5 à 7 fois la profondeur), avec une très grande résolution.



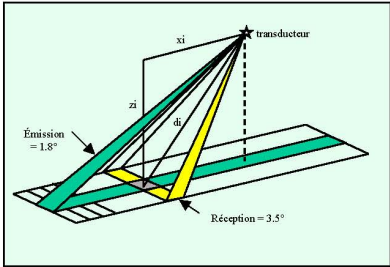
Bathymétrie EM12 Dual

Campagne Prisme II - mars 1998 sur L'Atalante - CNRS Océosciences Azur



Imagerie EM12 Dual

## La technique des faisceaux croisés



La plupart des sondeurs multifaisceaux fonctionnent selon la technique des faisceaux croisés.

Une impulsion sonore est émise au travers d'un lobe d'émission étroit dans la direction longitudinale (de l'ordre de 1 à 5 degrés) et large transversalement (typiquement 150 degrés).

La réception se fait à l'aide de faisceaux étroits dans le plan transversal (de l'ordre de 1 à 5 degrés).

Pour chaque faisceau de réception, la zone du fond explorée ("pastille insonifiée") est l'intersection entre le lobe d'émission et le faisceau de réception.

## Les sondeurs multifaisceaux de l'Ifremer -

### principales caractéristiques techniques

Sondeur	EM12 Dual	EM 300	EM 1000
Constructeur	Kongsberg Simrad (N)	Kongsberg Simrad (N)	Kongsberg Simrad (N)
Navires	L'Atalante	Le Suroît	L'Atalante / Le Suroît / Thalia (*)
Antennes	Planes (en V)	Planes horizontales	Circulaires
Plages de profondeur	50 - 12 000 m	20 - 4 000 m	0 - 1 500 m
Fréquence	13 kHz	32 kHz	95 kHz
Nombre de faisceaux	162	135	60
Ouverture angulaire	150°	140°	150°
Largeur des faisceaux (émission x réception)	1,8 x 3,5°	1 x 2°	3,3 x 3,3 °

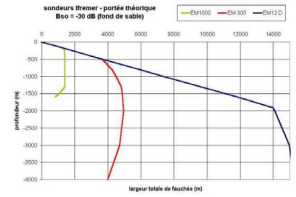
(\*) l'EM1000 de l'Ifremer est un système mobile qui peut être installé sur plusieurs porteurs.



L'Atalante

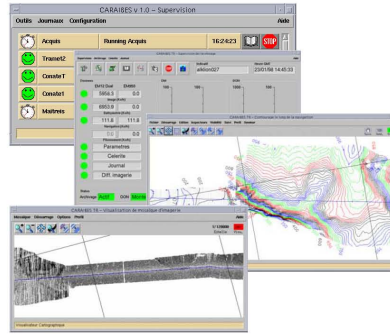


Les antennes de l'EM300, sous la coque du Suroît



Portée comparée des différents sondeurs

## Les sondeurs multifaisceaux - visualisation et traitement des données



Visualisation des données d'imagerie et de bathymétrie à l'aide de CARAIBES-TR

Pour :

- la **visualisation des données** (bathymétrie et imagerie) **en temps réel**, à bord des navires, et
- le **traitement des données** (bathymétrie et imagerie) **en temps différé**, à bord des navires ou dans les laboratoires à terre, l'Ifremer a développé et utilise un ensemble de logiciels performants : CARAIBES.

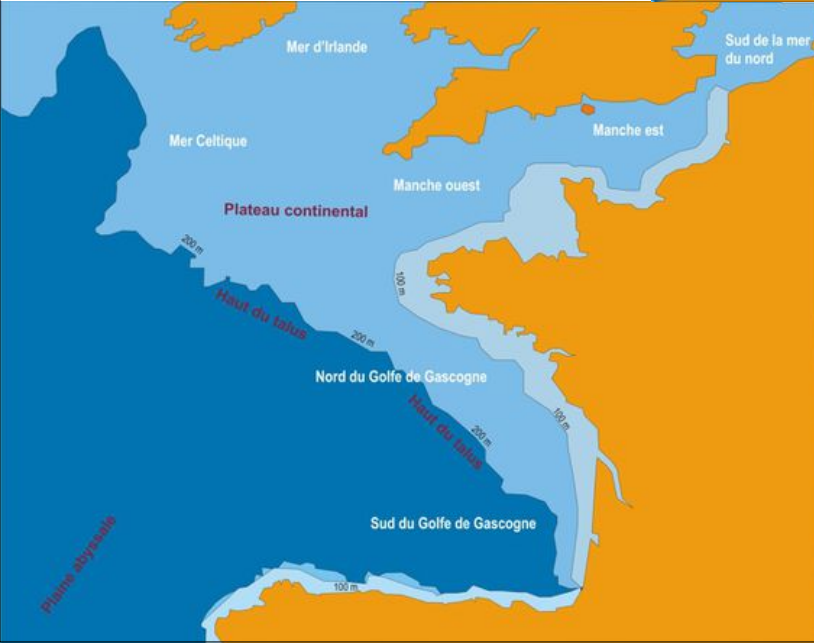
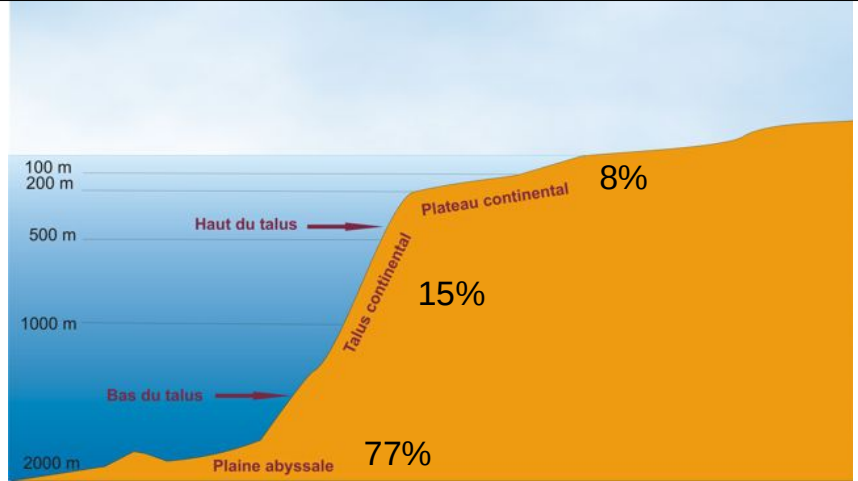
CARAIBES est actuellement utilisé par de nombreux laboratoires, en France et à l'étranger.

© Ifremer

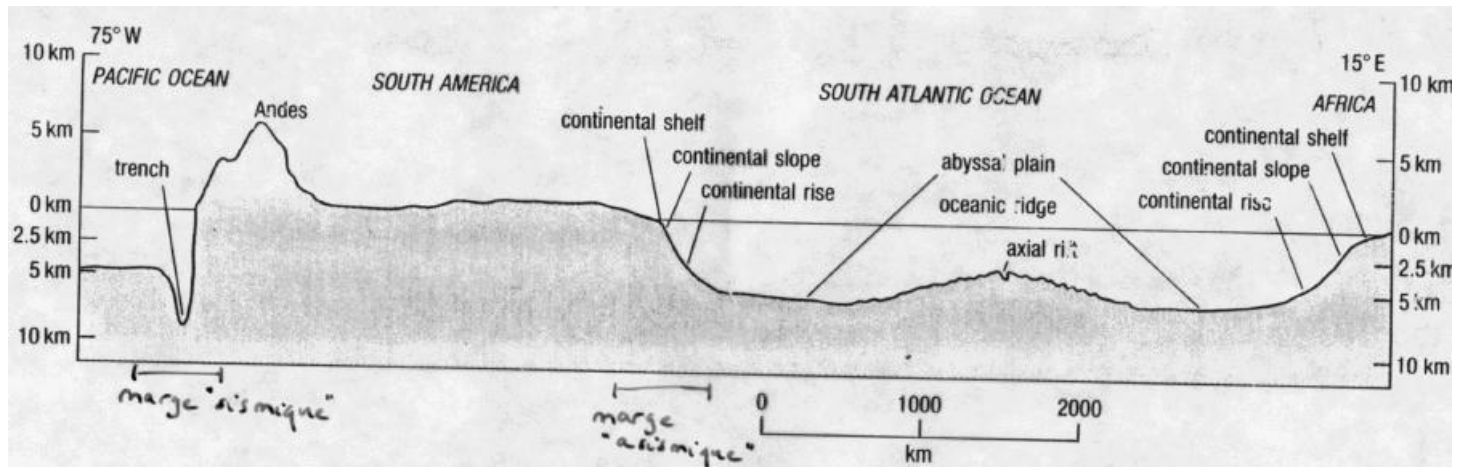
Contact  
 Département Équipements Scientifiques et Informatique Embarquée DNIS/ESI  
 IFREMER Centre de Brest - BP 70  
 29200 Plouzané - France  
 phone 33 (0)2 98 22 41 83  
 fax 33 (0)2 98 22 45 46  
 email esi@ifremer.fr  
<http://www.ifremer.fr/flotte>



# Traits principaux des bassins océaniques

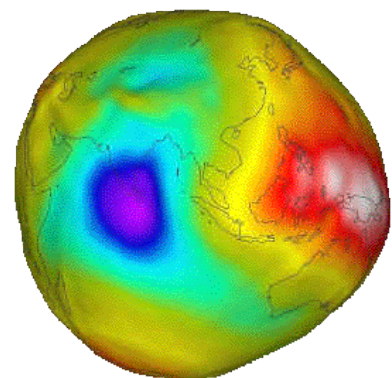
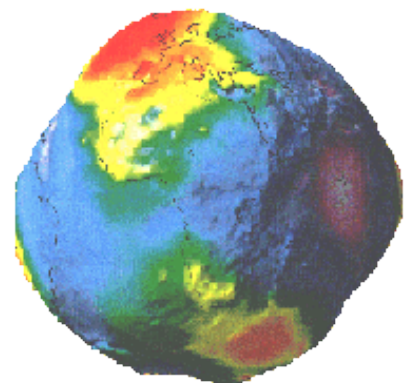
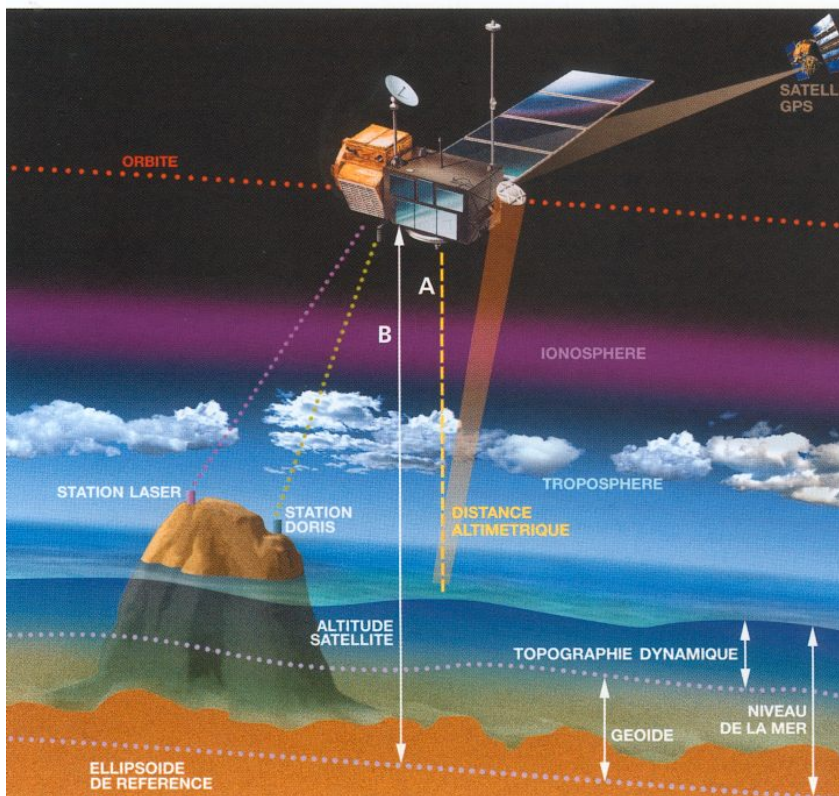


# raccordement entre socle continental et fonds abyssaux



19

# Altimétrie satellite et géoïde

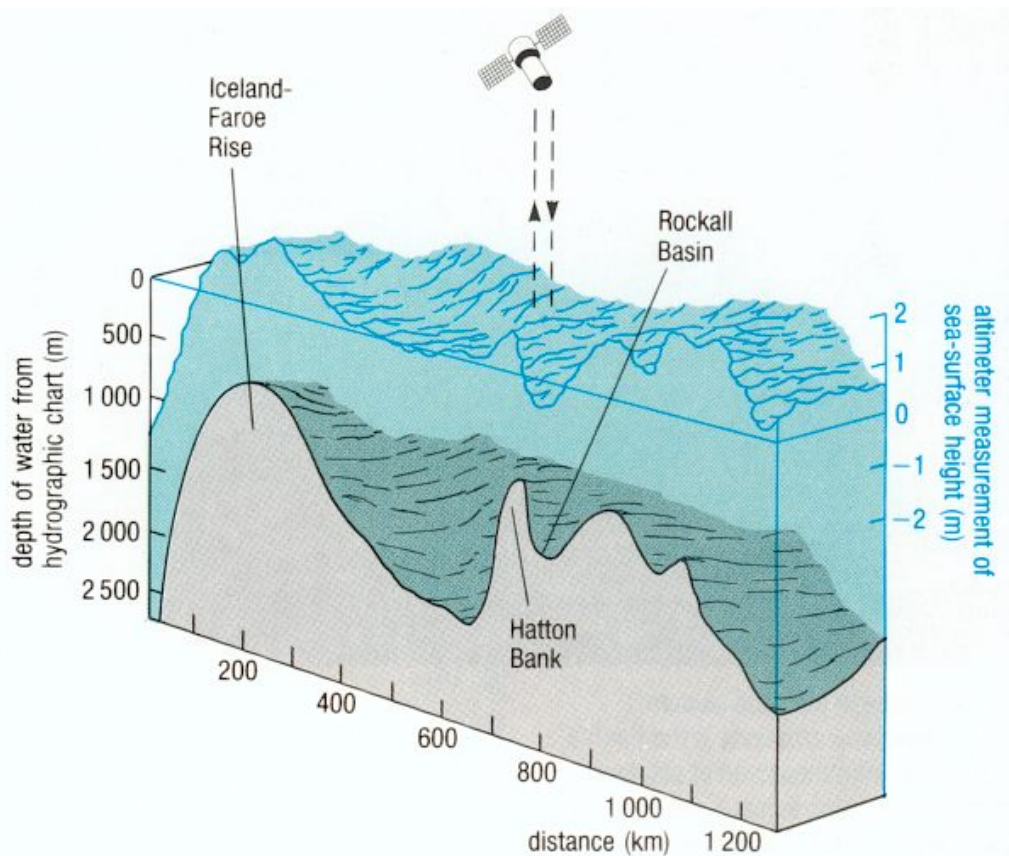


**géoïde** : surface équipotentielle du champ de pesanteur coïncidant au mieux avec le niveau moyen des océans.

20

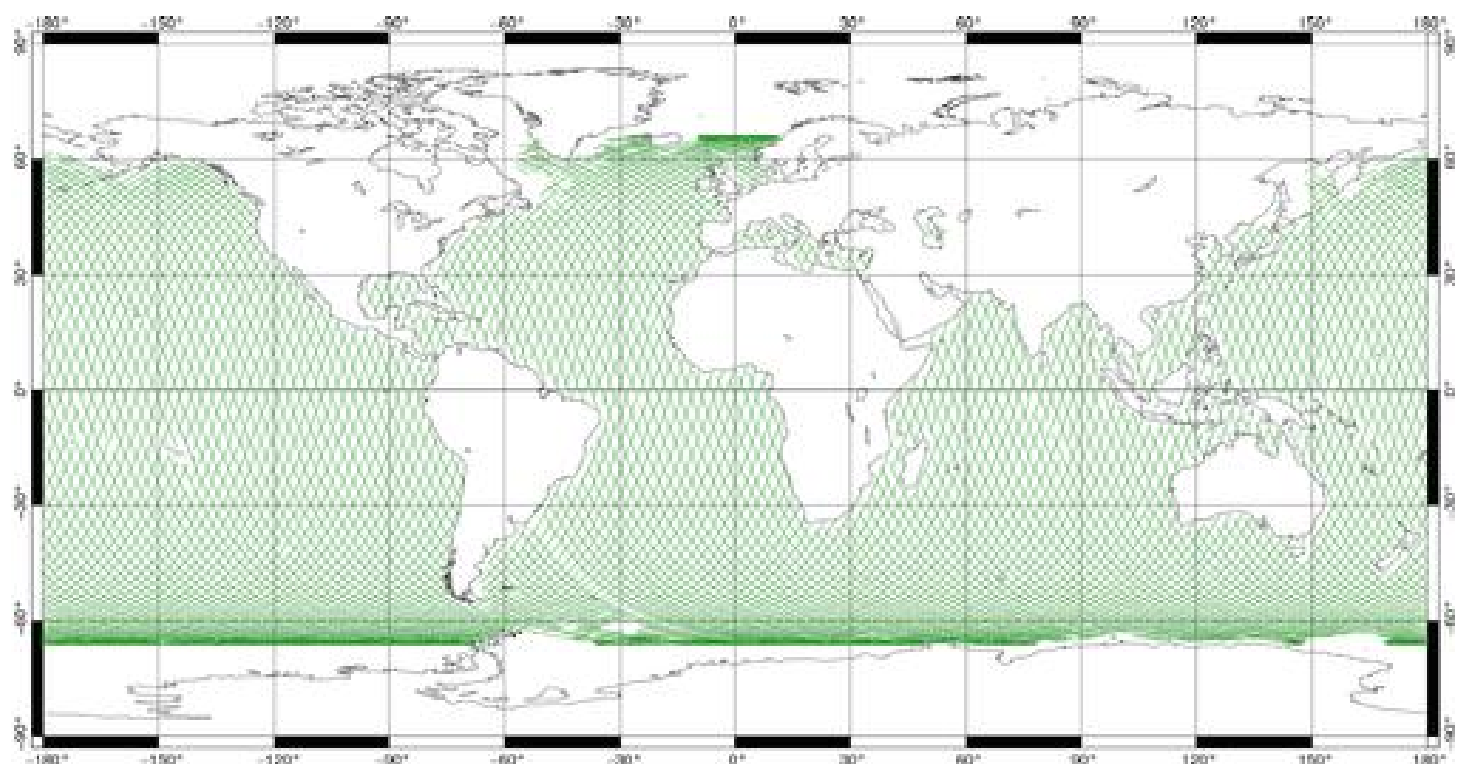
**altimètre** : précision centimétrique + corrections pour marée et pression atmosphérique

à grande échelle (100 km),  
un relief sous marin de 1000 m correspond à  
une bosse du niveau de la mer d'environ 1 m

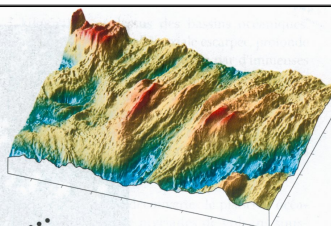
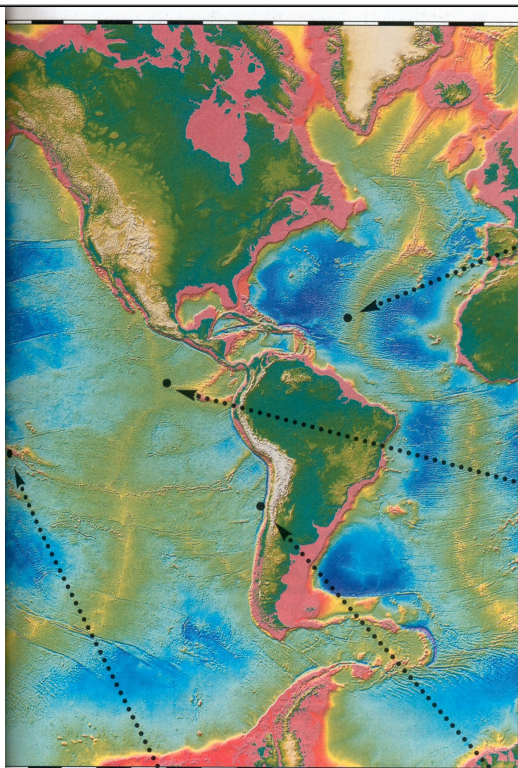
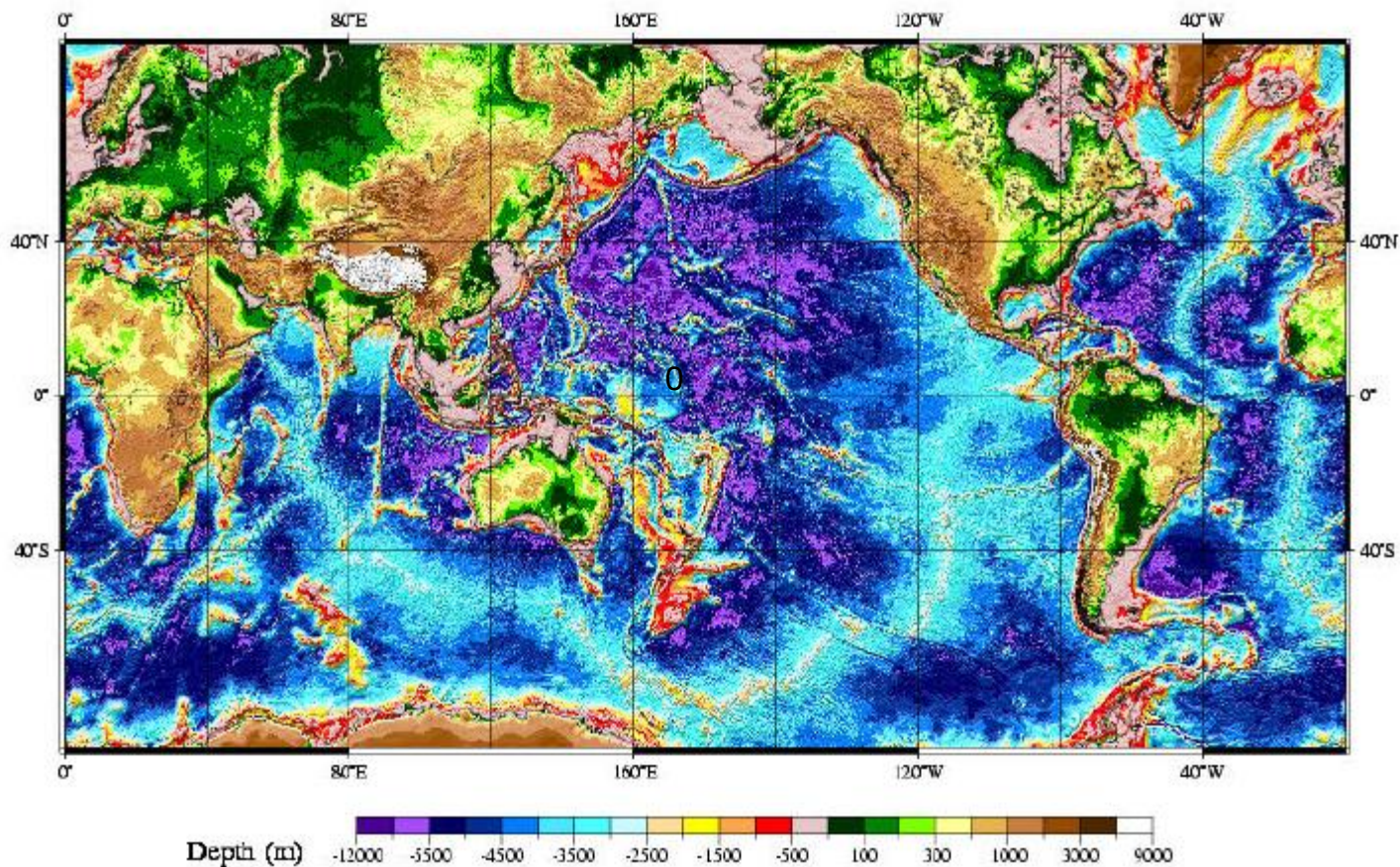


21

trace au sol des satellites altimétriques Topex-Poseidon, Jason 1 et 2 : tous les 10 jours le satellite repasse **exactement** au même endroit



# 1997 : première carte bathymétrique globale à 1/10° associant relevés satellite altimétrie/gravimétrie et mesures sondeur bateaux



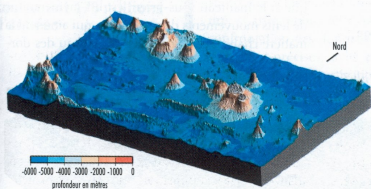
**La dorsale lente médio-Atlantique.** A la différence de la dorsale est-Pacifique, son axe est entaillé d'une profonde vallée. De part et d'autre, le relief est très accidenté. Collines abyssales, orientées parallèlement à l'axe, et failles transverses donnent au relief une allure heurtée.

(Document Pascal Geste)



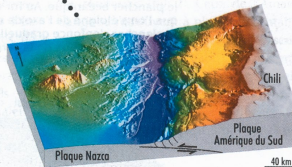
**La dorsale rapide est-Pacifique.** Son axe est souligné par un bombement. De part et d'autre, le plancher océanique est structuré par des collines abyssales parallèles à la direction de l'axe, mais relativement peu marquées dans la topographie. Toute l'activité volcanique, tectonique et hydrothermale des dorsales est concentrée sur une bande axiale de 20 à 40 kilomètres.

(Document W.S.D. Wilcock et al.)



**Les volcans de l'archipel de la Société,** dans le Pacifique, sont issus de l'activité d'un point chaud, un panache de magma qui remonterait depuis le manteau inférieur.

(Document Alain Bonneville)



**La fosse de subduction.** Ici, celle de la plaque Nazca, sous la bordure occidentale du Chili. La courbure de la plaque plongeante est marquée par une profonde fosse océanique qui borde le continent sud-américain.

(Document S. Dominguez)

# les sédiments marins

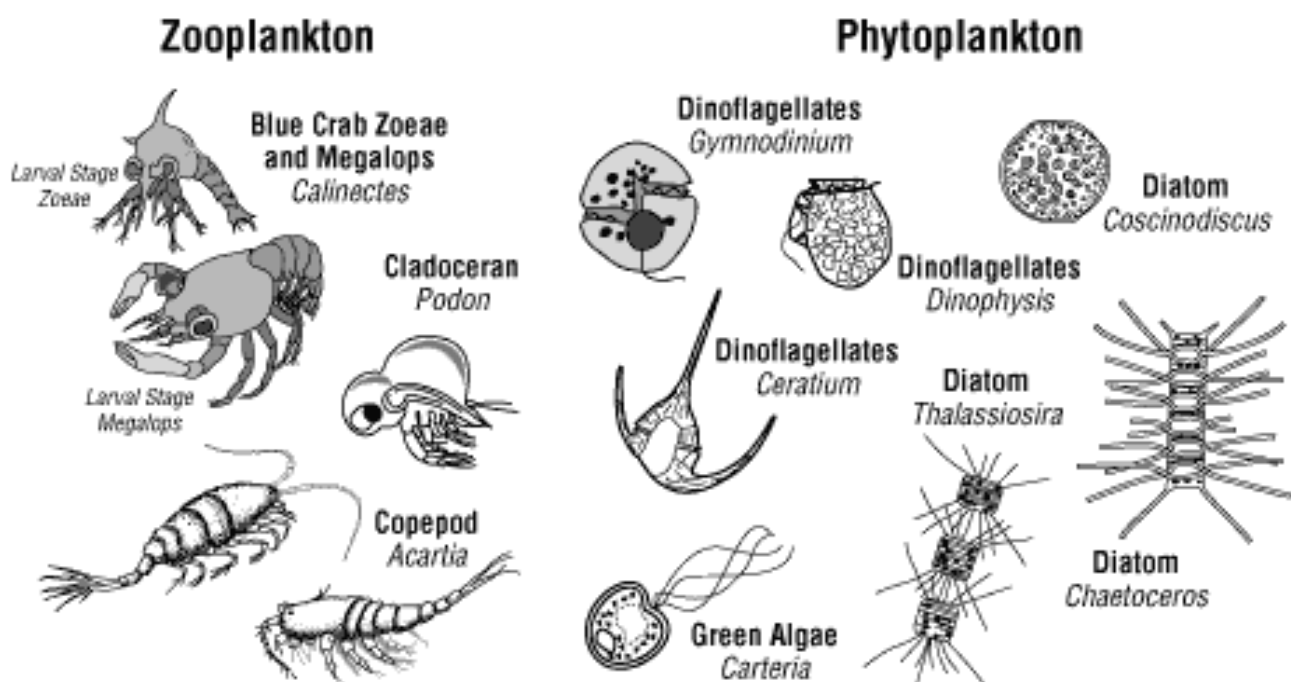
- 3 origines principales :
  - terrestre : érosion, apports fluviaux, éoliens volcaniques
  - chimique : sels dissous dans l'eau des rivières
  - planctonique ou organique : débris minéraux insolubles des êtres vivants dans la mer > 47% de la superficie du fond des océans.
- 4 types de sédiments organiques (boues)
  - 2 calcaires : boues d'êtres unicellulaires ou mollusques à test formé de CaCO<sub>3</sub>, type globigérines (35%, 0-5000m) ou ptéropodes (1%, 1500-3000m)
  - 2 siliceux : algues unicellulaires type diatomées (9%, eaux froides et peu salées) ou radiolaires (2%, profond).
- argiles rouges : 28%, grandes profondeurs.

Vitesse de dépôt ?

- 1mm/1000ans, maximum 1cm dans l'océan ouvert
- jusqu'à quelques mètres / 1000 ans au voisinage des côtes, panaches des fleuves.

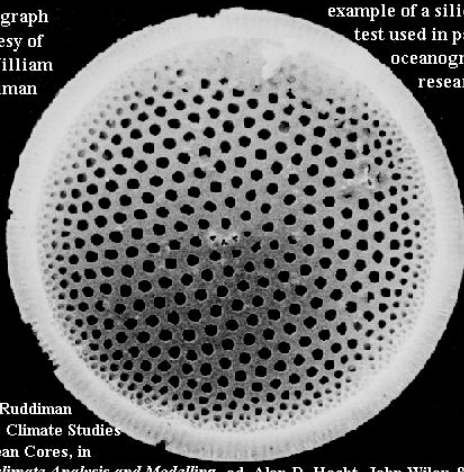
25

## exemples de plancton marin



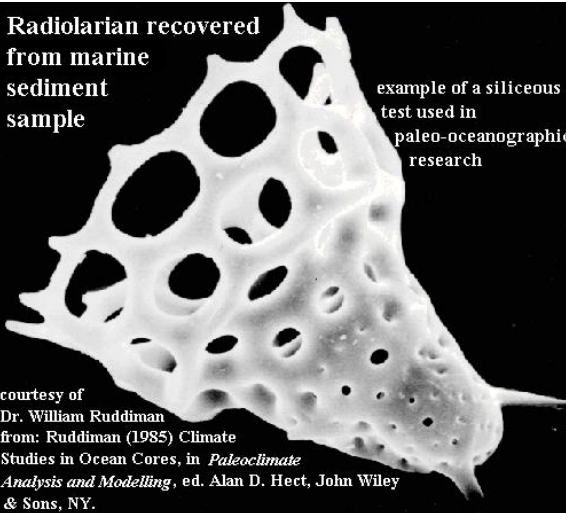
**Figure 19-1.** Examples of various planktonic forms found in coastal and estuarine waters.

**Diatom recovered from marine sediment sample**  
 photograph courtesy of Dr. William Ruddiman  
 example of a siliceous test used in paleo-oceanographic research



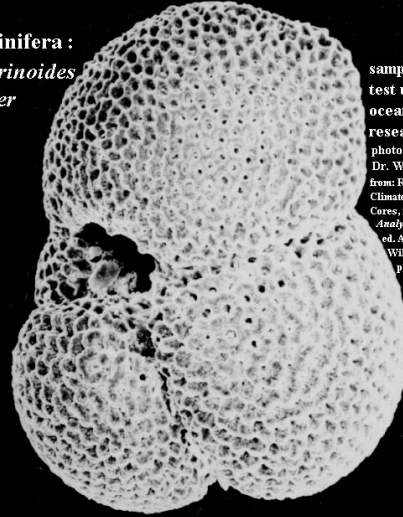
from: Ruddiman (1985) *Climate Studies in Ocean Cores*, in *Paleoclimate Analysis and Modelling*, ed. Alan D. Hecht, John Wiley & Sons, NY.  
 40µM

**Radiolarian recovered from marine sediment sample**  
 example of a siliceous test used in paleo-oceanographic research



courtesy of Dr. William Ruddiman from: Ruddiman (1985) *Climate Studies in Ocean Cores*, in *Paleoclimate Analysis and Modelling*, ed. Alan D. Hecht, John Wiley & Sons, NY.  
 20µM

**Foraminifera : *Globigerinoides sacculifer***



sample calcareous test used in paleo-oceanographic research  
 photograph courtesy of Dr. William Ruddiman from: Ruddiman (1985) *Climate Studies in Ocean Cores*, in *Paleoclimate Analysis and Modelling*, ed. Alan D. Hecht, John Wiley & Sons, NY, p. 201, figure 2.

200µM

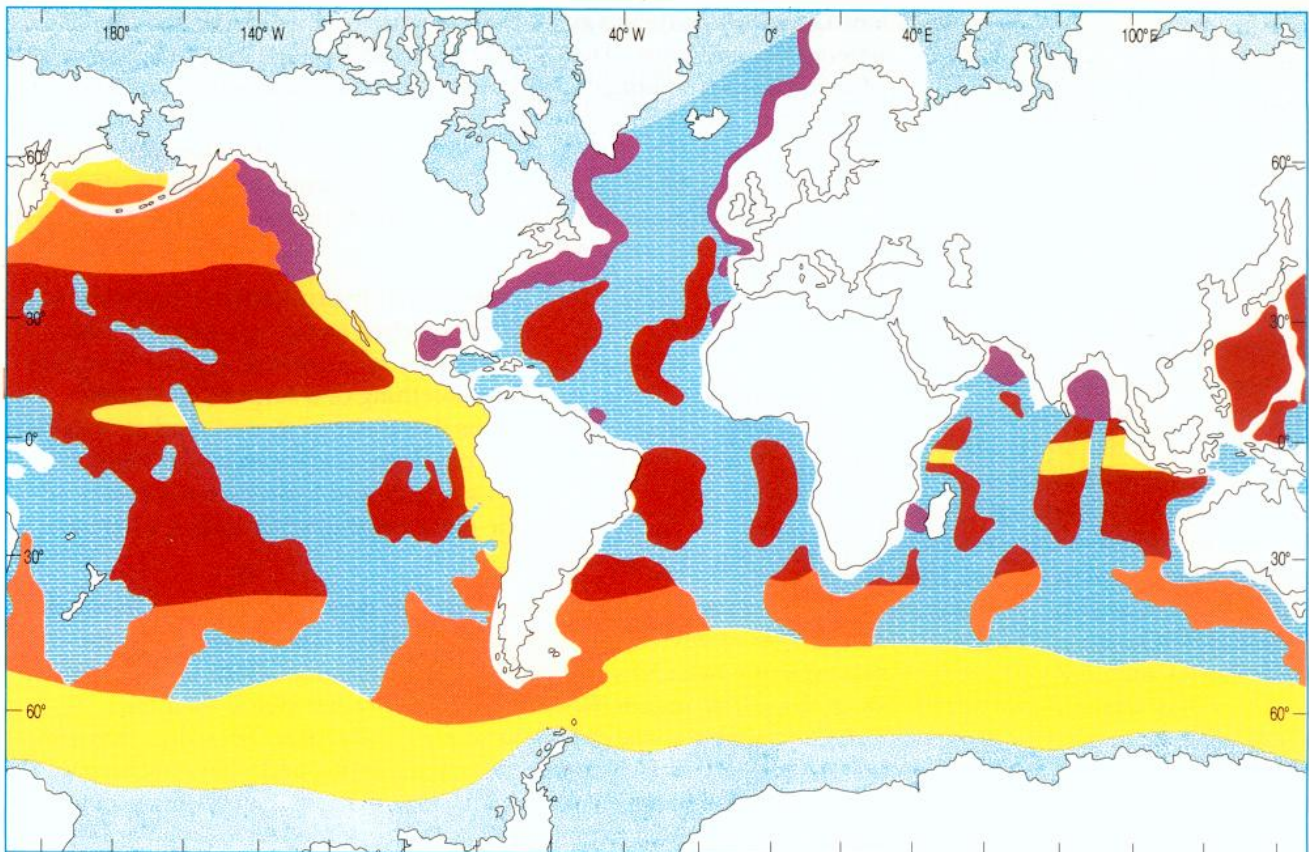
**Coccolith**



sample calcareous test used in paleo-oceanographic research:  
***Coccolithus leptoporus*** - courtesy of

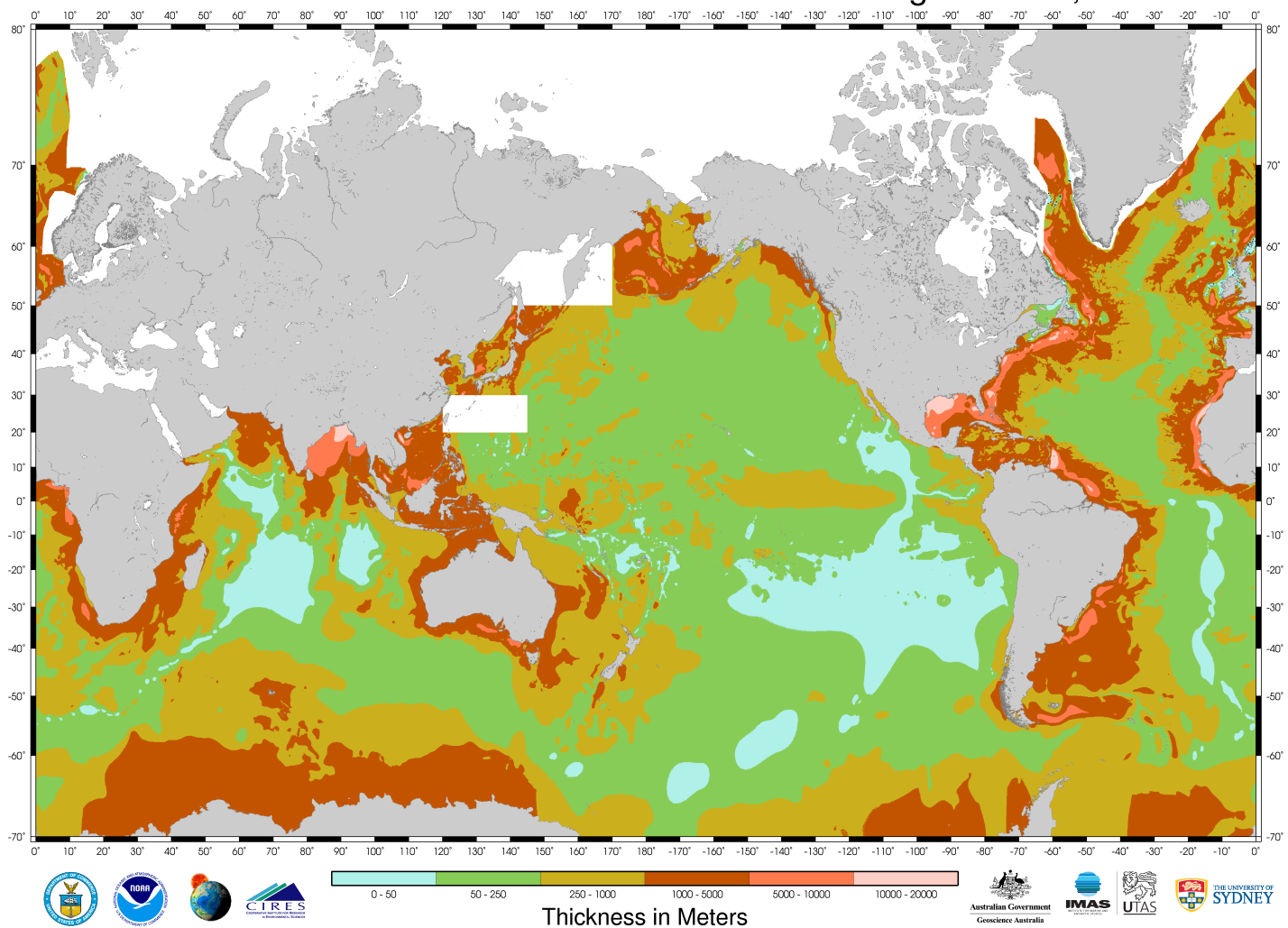
Dr. William Ruddiman from: Ruddiman (1985) *Climate Studies in Ocean Cores*, in *Paleoclimate Analysis and Modelling*, ed. Alan D. Hecht, John Wiley & Sons, NY, p. 201, figure 2.  
 4µM

## Distribution actuelle des types dominants de sédiments marins



ice rafted      carbonate      siliceous      red clay      terrigenous      siliceous/red clay

## Total Sediment Thickness of the World's Oceans & Marginal Seas, Version 2



# Dynamique des fonds marins

1910 Frank Taylor discute la possibilité du mouvement des continents

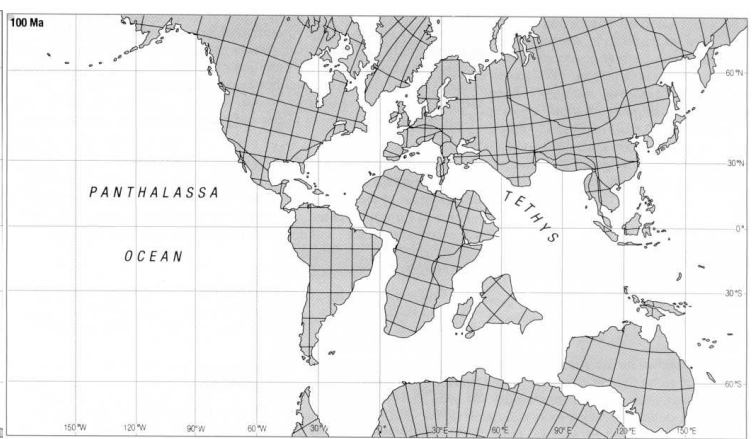
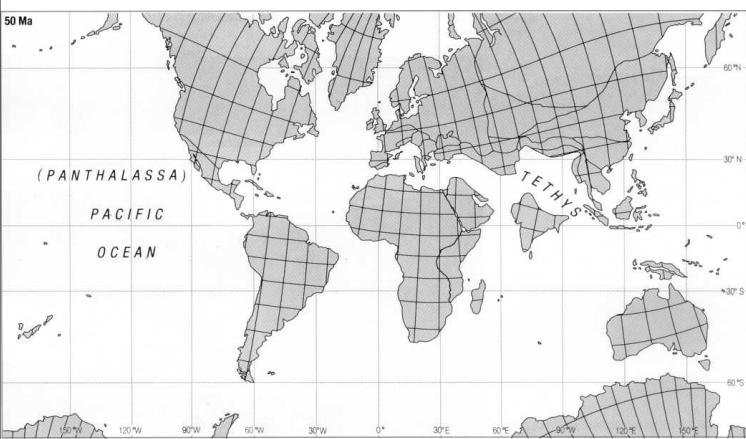
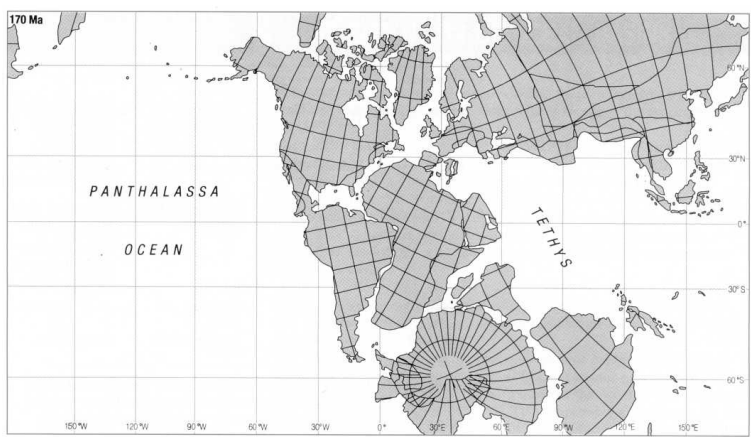
1915 Alfred Wegener et la dérive des continents, longtemps controversée

1940 tectonique des plaques et SONARs

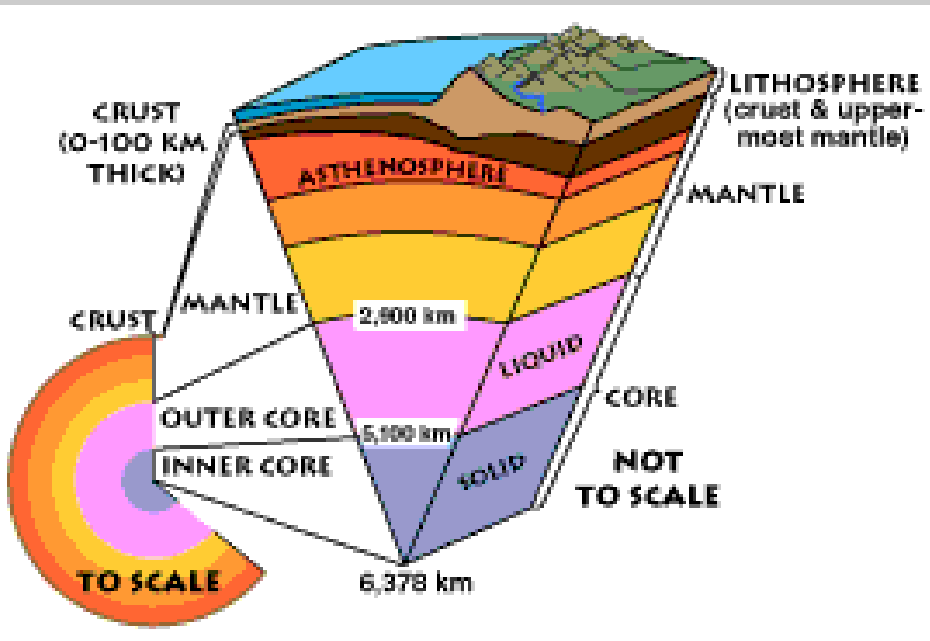
1950 paléomagnétisme, étude des dorsales

Au niveau des dorsales océaniques, le fond de l'océan s'écarte du fossé (rift) central, comme sur un tapis roulant, à une vitesse de l'ordre de 1 cm/an (jusqu'à 20cm/an !).

Reconstitution du mouvement des plaques du Jurassique (-170Ma), au Crétacé (-100Ma) et à l'Eocène (-50Ma) à partir de données topographiques, paléoclimatiques et paléomagnétiques.



# Enveloppes terrestres



## Classement chimique

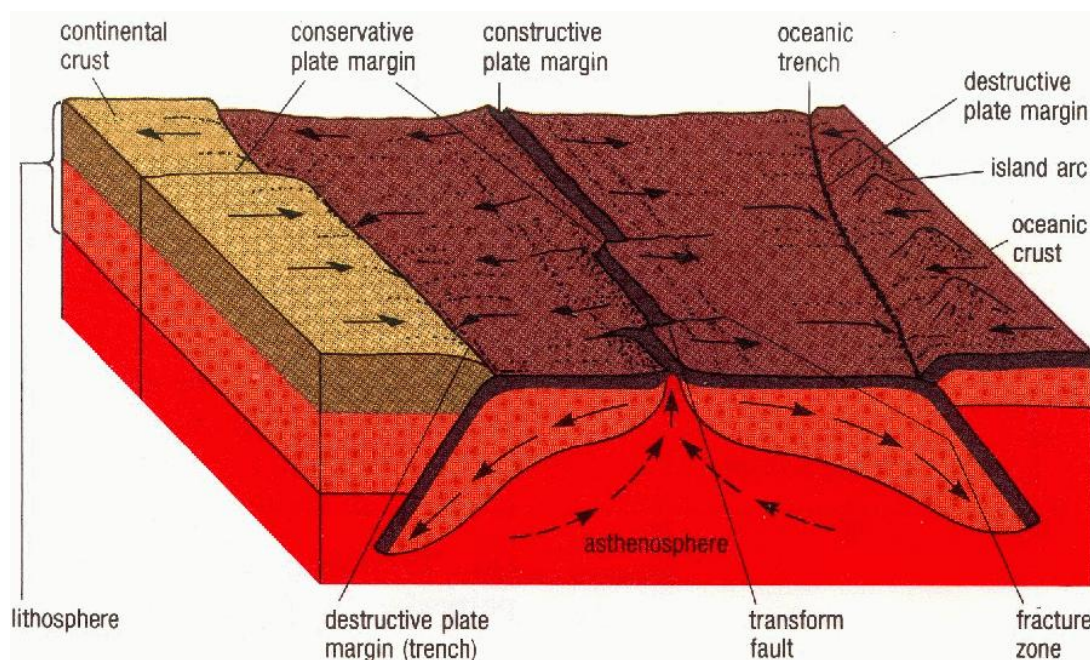
- croûte
  - continentale : granitique, 35km, densité 2,7
  - océanique : basaltique, 10km, densité 2,9
- manteau : basaltique, 2900km, densité 4,5
- coeur : métallique (fer, nickel), 3400km

## Classement physique

- lithosphère, froide et rigide : 250km sous continents, 100km sous océans
- asthénosphère chaude et plastique, 700km
- mésosphère
- coeur externe liquide, à l'origine du champ magnétique terrestre
- coeur interne solide (graine, croît par cristallisation due au refroidissement de la Terre)



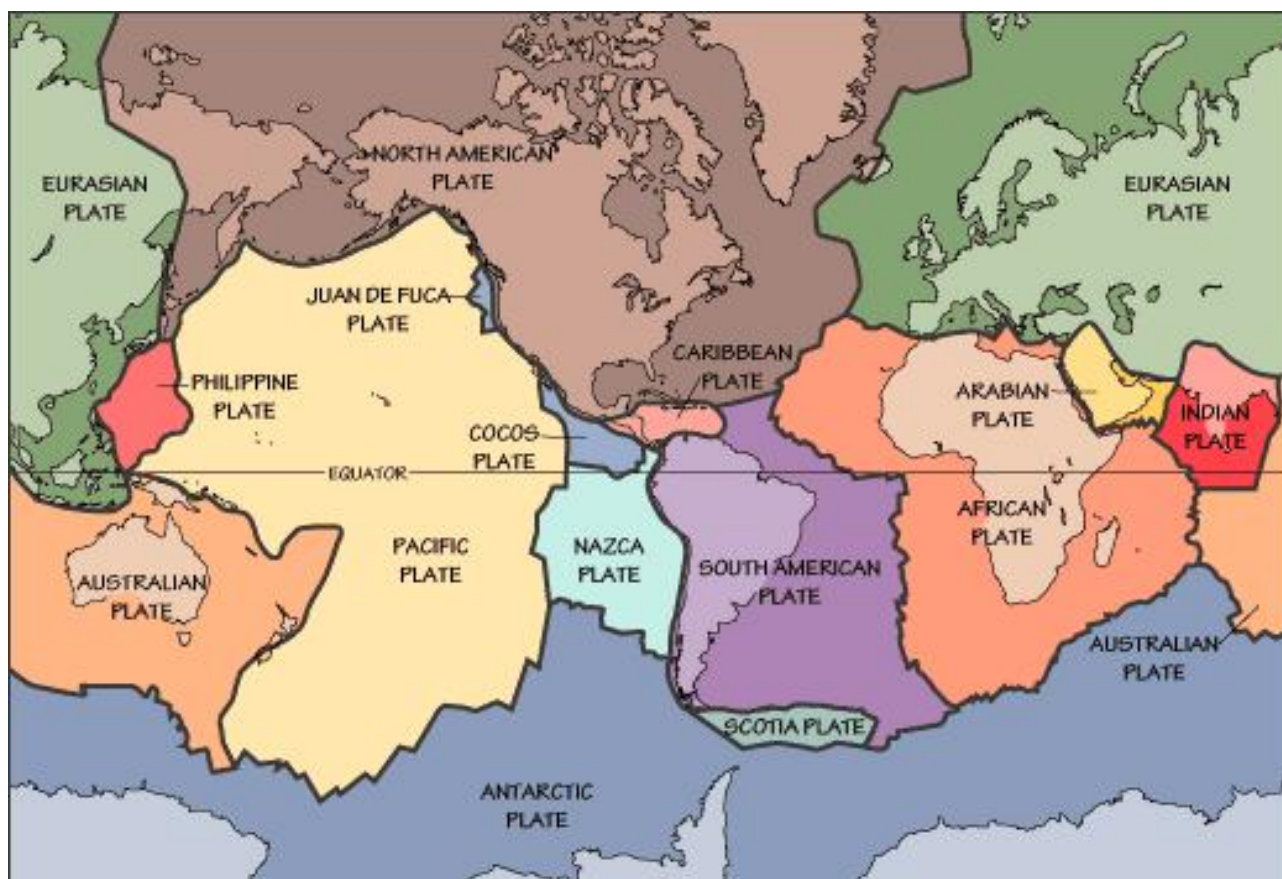
# Concepts essentiels de la tectonique des plaques



Des plaques de lithosphère rigide (partie haute du manteau et croûte océanique ou continentale) se déplacent au dessus d'une couche relativement peu visqueuse à l'échelle du déplacement des plaques (asthénosphère). Les éléments du manteau s'élèvent au niveau des limites constructrices (comme les dorsales océaniques) tandis que les plaques s'enfoncent dans le manteau au niveau des limites destructrices (fosses océaniques). Au niveau des limites conservatrices, les plaques ne font que glisser l'une par rapport à l'autre.

33

## Plaques

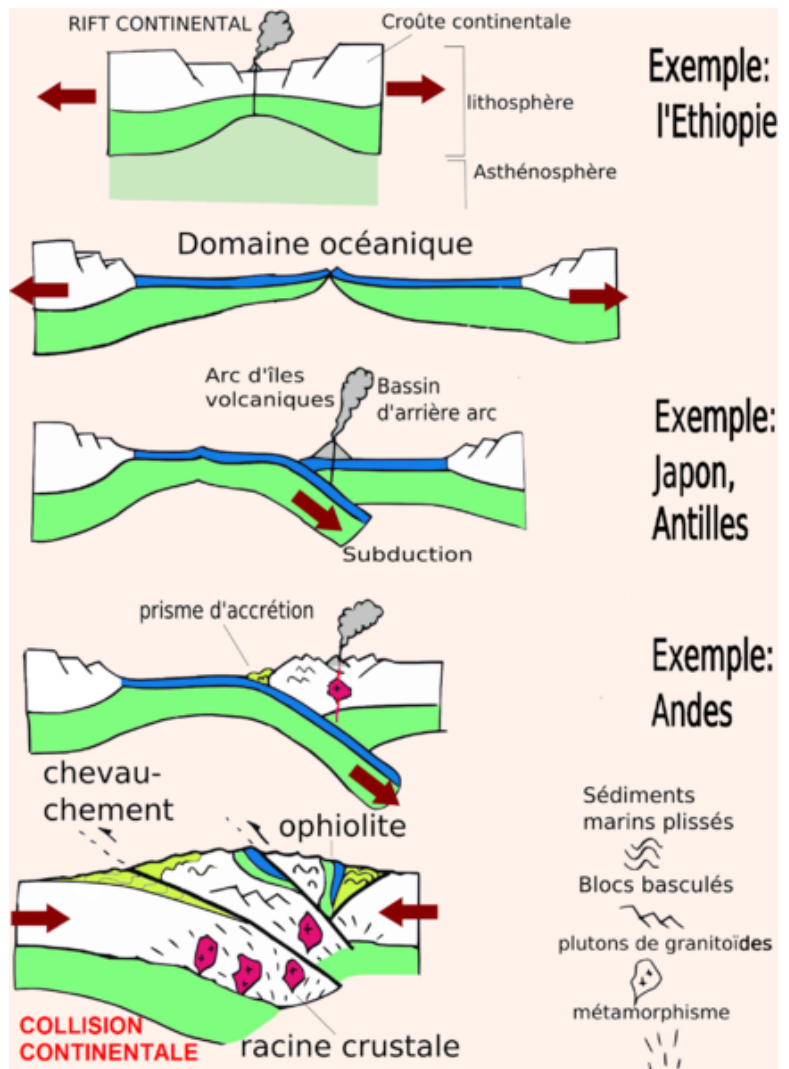


34

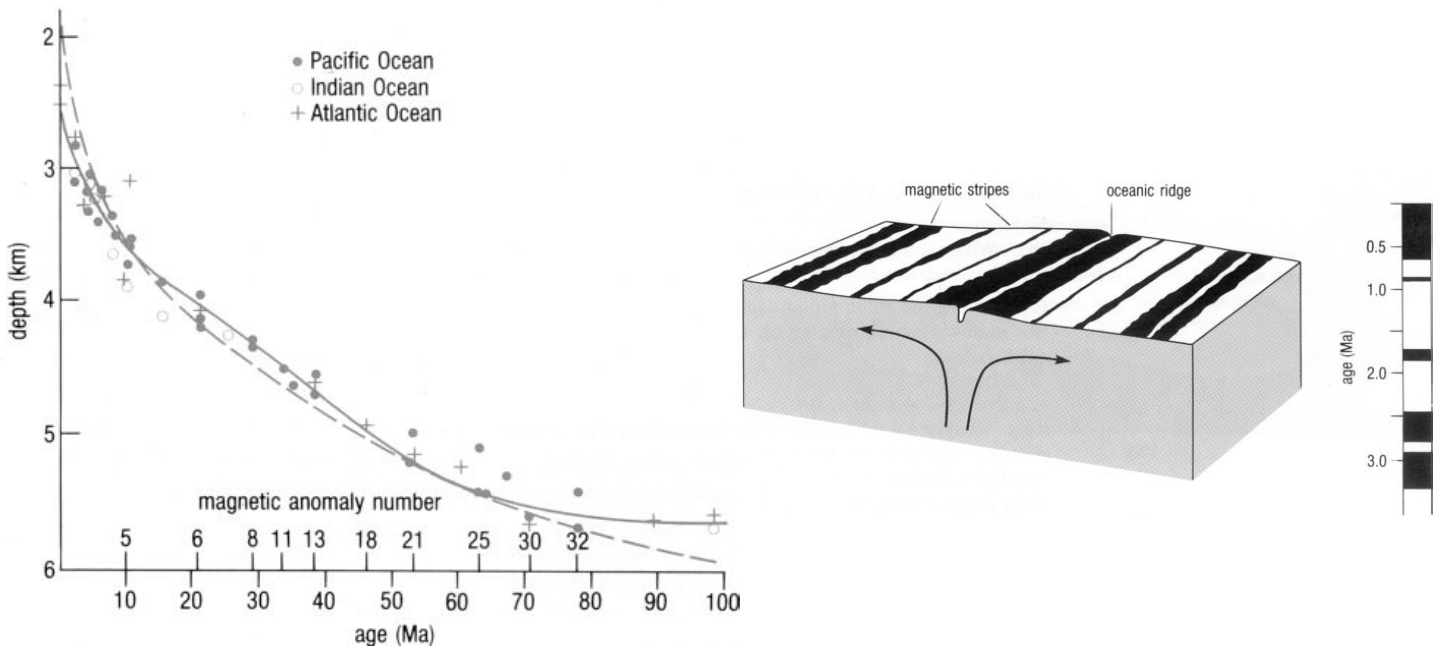
# et limites de plaques



cycle  
orogénique :  
naissance et  
disparition d'un  
océan



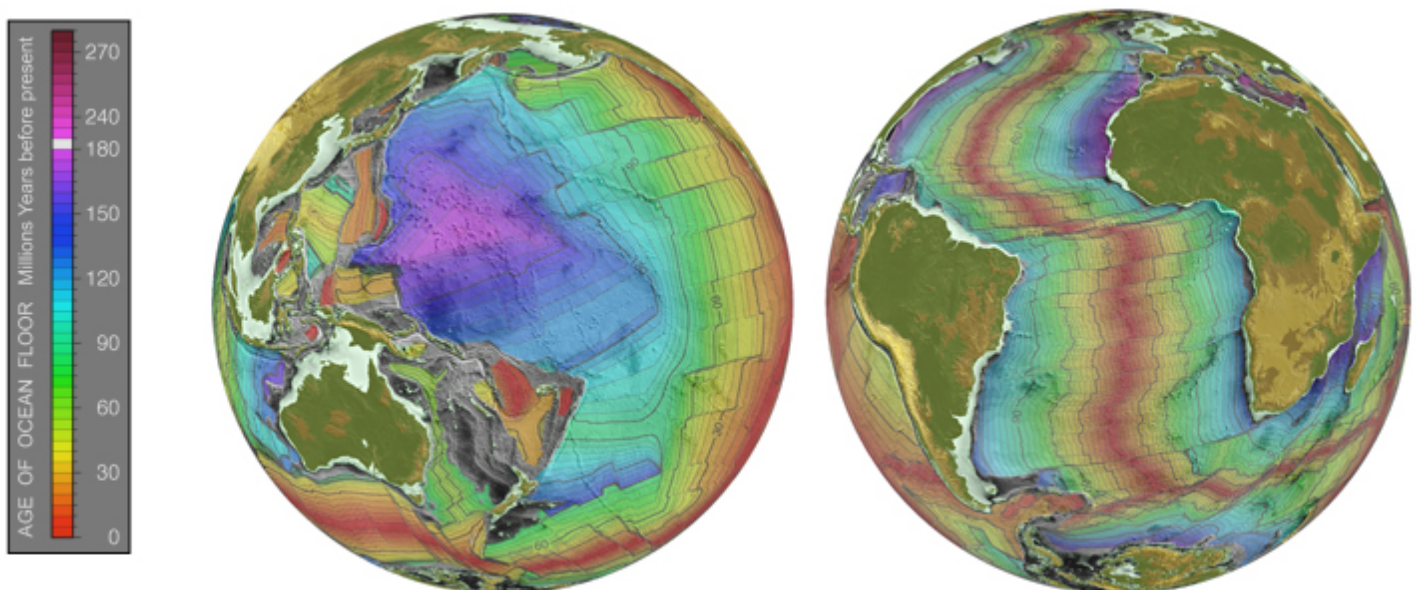
# Magnétisme et rift médio-océanique



On date la croûte océanique grâce aux inversions du champ magnétique terrestre. Lors du refroidissement du magma issu du rift (température de Curie), la croûte fige la direction du champ magnétique, et continue à s'éloigner du rift au fur et à mesure que l'océan s'étend. Elle se refroidit et devient de plus en plus dense, s'enfonçant lentement. Les croûtes océaniques les plus vieilles sont ainsi les plus profondes.

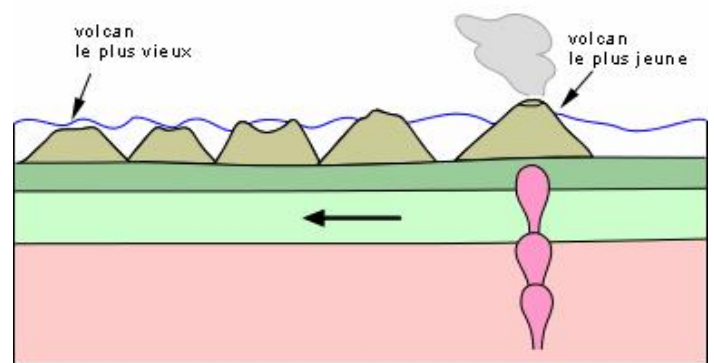
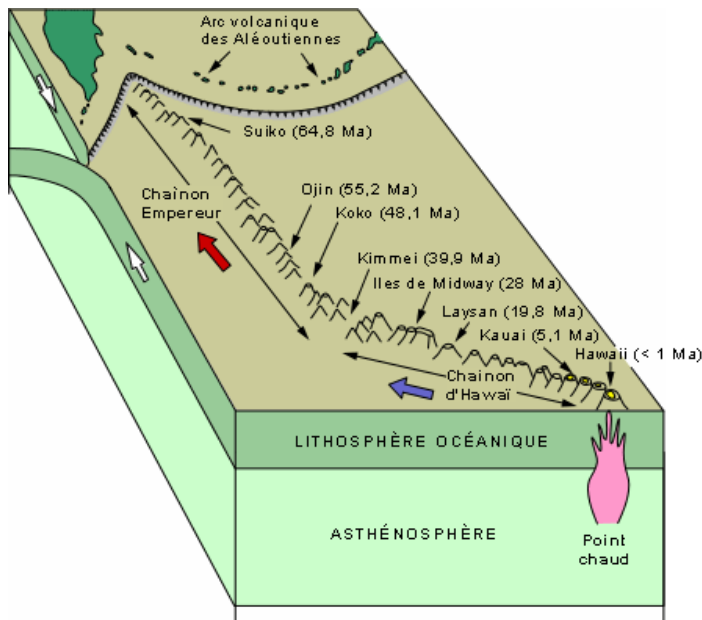
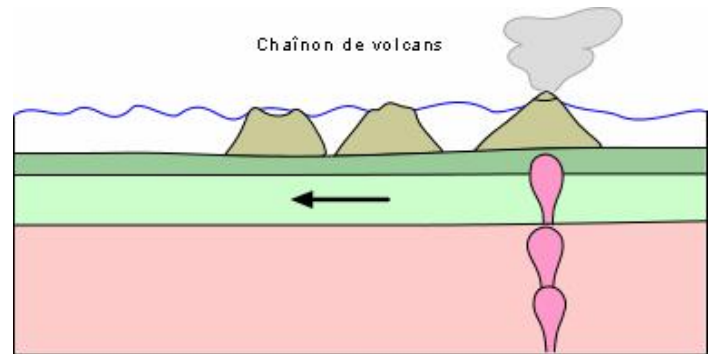
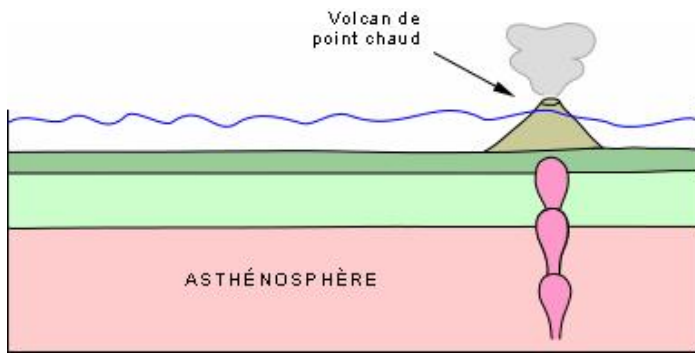
37

## Age de la croûte océanique



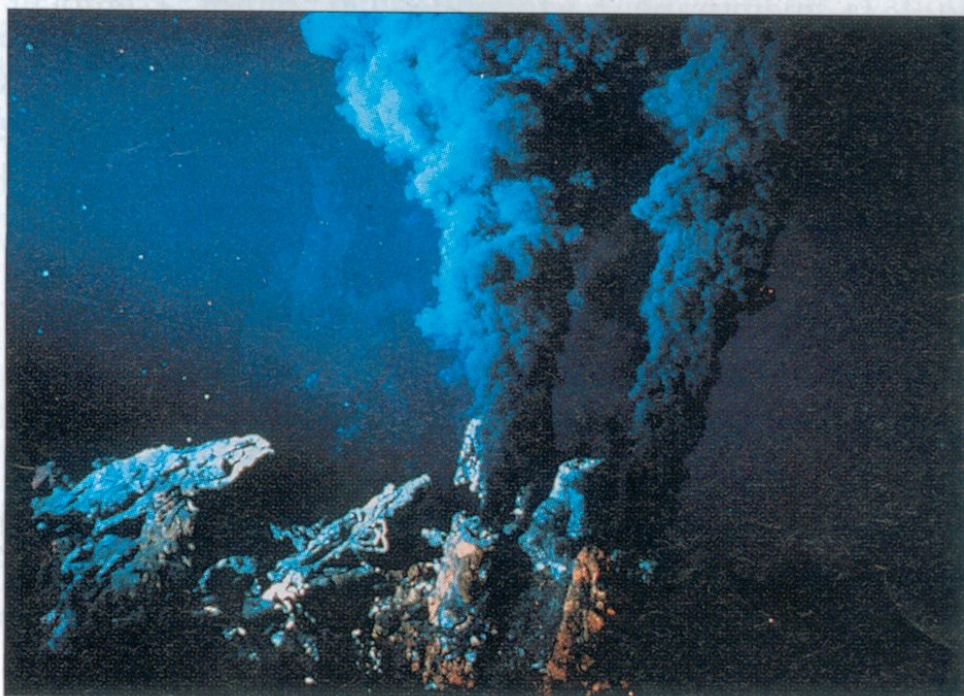
38

# Points chauds et volcans



## La circulation hydrothermale

1970's découverte de sources chaudes au fond de l'océan



**S'infiltrant dans les fissures du plancher océanique,** l'eau de mer s'enrichit en divers éléments constitutifs de ce dernier. Elle prend alors le nom de « **fluide hydrothermal** ». A proximité du magma en fusion, ce fluide remonte et s'échappe au niveau des cheminées hydrothermales : les fumeurs noirs.

Vers tubulaires, figures  
d'un écosystème  
reposant non pas sur  
la photosynthèse mais  
sur l'**oxydation des  
composés sulfurés**



- ▶ circulation de l'ensemble des eaux de l'océan dans la croûte en quelques millions d'années
- ▶ rôle de tampon sur la composition chimique de l'eau de mer

